ATOM KERNSTRAHLEN

SCHRIFTENREIHE

DER DEUTSCHEN GESELLSCHAFT

FÜR ATOMENERGIE e. V., Bonn

Volksbildung

Heft 1

Satz und Druck:

W. Kohlhammer, Stuttgart

Graphik und Klischees:

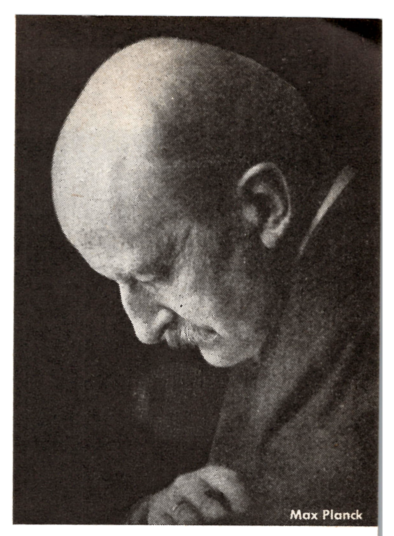
Siering, Bonn

Das Atom, das heute für Millionen von Menschen in der ganzen Welt Fluch oder Segen bedeutet, war über 2 000 Jahre nichts weiter als eine philosophische Idee. Griechische Denker bezeichneten damit den kleinsten Baustein der Materie. Generationen von Forschern nach ihnen hielten das Atom ebenso für unteilbar und unveränderlich — bis zur Entdeckung der Kernumwandlung der radioaktiven, d. h. zerfallenden Grundstoffe durch die moderne Naturwissenschaft um die Wende vom 19. zum 20. Jahrhundert.

Diese umwälzende Entdeckung wurde in Europa gemacht. Sie ist das Ergebnis unermüdlicher Forschungsarbeit und eines unbehinderten Austausches von Erkenntnissen und Erfahrungen. Es ist nicht die Leistung eines überragenden Geistes oder einer Nation — die Zusammenarbeit vieler bedeutender Forscher und Lehrer aus mehreren Ländern Europas war dazu erforderlich. In die Jahrbücher dieses neuen Kapitels der Naturwissenschaft trugen sich ein, um nur einige Namen und Leistungen zu nennen:

- 1895 Wilhelm Konrad Röntgen entdeckt die später nach ihm benannten Strahlen
- 1896 Henri Becquerel findet die natürliche Radioaktivität
- 1898 das Ehepaar Pierre und Marie Curie-Sklodowska stellt das Radium dar
- 1900 Max Planck stellt die Quantentheorie auf
- 1905 Albert Einstein entwickelt eine neue Vorstellung von Zeit, Raum, Schwerkraft und von der Beziehung zwischen Masse und Energie
- 1919 Ernest Rutherford gelingt die künstliche Umwandlung von Atomkernen
- 1927 Werner Heisenberg formuliert die Unbestimmtheitsbeziehung
- 1932 James Chadwick entdeckt das Neutron
- 1934 dem Ehepaar Frédéric und Irène Joliot-Curie glückt die Herstellung künstlich radioaktiver Stoffe
- 1938 Otto Hahn und Fritz Strassmann entdecken die Urankernspaltung

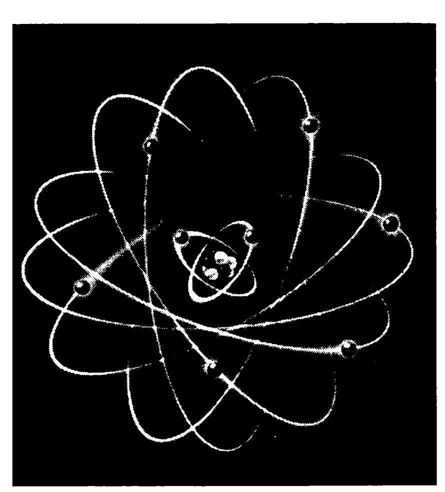
Die Verwertung dieser Forschungsergebnisse ist in vollem Gange. Außereuropäische Mächte haben die Führung übernommen. Wenn Europa nicht hinter den USA und der Sowjetunion zurückbleiben will, müssen seine Gliedstaaten eng zusammenarbeiten.


Max Planck


Marie Curie


Otto Hahn

Das Atom

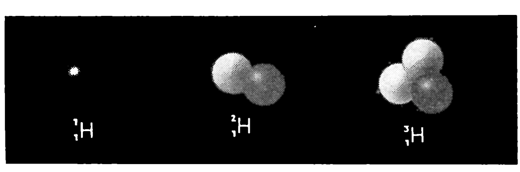


Sauerstoffatom mit Kern und Elektronenhülle.

ist ein winziges Teilchen. Es ist so klein, daß wir es auch im besten Mikroskop nicht erkennen können. Es ist so leicht, daß wir es auch auf der feinsten Mikrowaage nicht wiegen können. Sein Durchmesser beträgt nur etwa 0,00000001 cm. Ein Gramm Wasserstoff enthält 602 000 000 000 000 000 000 000 Atome. Wenn wir in eine völlig leergepumpte Glühbirne von 100 ccm Inhalt ein Loch bohren, durch das pro Sekunde gerade 1 Million kleinste Gasteilchen eindringen können, dann müßten wir 85 Millionen Jahre warten, bis sich diese Glühbirne gefüllt hat. Das ist eine Zeit, die das Alter der Menschheit bedeutend übersteigt. Würden wir ein Glas Wasser von 100 ccm Inhalt an irgendeiner Stelle in das Weltmeer schütten und nach einer Zeit, nach der wir eine völlige Durchmischung mit dem Gesamtwasser der Weltmeere annehmen können, an irgendeiner anderen Stelle der Erde unser Glas wieder mit Wasser füllen, so hätten wir in diesem Glas noch 1 000 kleinste Teilchen der ursprünglich ins Meer gegossenen Wassermenge.

Das Atom besteht aus einem Kern und einer Hülle. Der Kern ist aus winzig kleinen Teilchen zusammengesetzt. Diese Teilchen sind entweder positiv elektrisch geladen oder sie verhalten sich elektrisch neutral. Die positiv geladenen Teilchen heißen Protonen, die sich elektrisch neutral verhaltenden Teilchen Neutronen. Protonen und Neutronen bilden eng zusammengeballt den Atomkern. Um diesen Kern kreisen in der Hülle mit ungeheurer Geschwindigkeit ebenfalls winzige Teilchen, die Elektronen. Sie sind negativ elektrisch geladen. 600 billionenmal in der Sekunde saust das Elektron um den Atomkern. Unfaßbar scheint es uns, wie Menschengeist solche Geschwindigkeit messen, solche winzigen Teilchen erkennen und mit ihnen arbeiten kann. — Wenn wir uns die Ausdehnung eines Einzelatoms klarmachen wollen, so zeigt ein Größenvergleich zwischen Stecknadelkopf, Atom und Atomkern, daß das Atom erst bei einer Vergrößerung um das 1 000 000fache als kleines Körnchen von 0,1 mm Durchmesser sichtbar wird, der Atomkern dagegen erst, wenn ein Stecknadelkopf so groß wie der Durchmesser der Sonne ist. Atom und Kern verhalten sich in der Größe wie ein Dom zu einem Stecknadelkopf. In der Natur kommen 92 Grundstoffe vor, die sich alle voneinander erheblich unterscheiden. Denken wir nur an gasförmige Stoffe wie Sauerstoff und Helium oder an Metalle wie Aluminium und Eisen. Dieser Unterschied liegt im Aufbau der Atome. Er besteht in der verschiedenen Anzahl der Protonen im Kern, die der Zahl der Elektronen in der Hülle entspricht. Die Atome ein und desselben Grundstoffes verhalten sich chemisch gleich. Sie können sich aber physikalisch voneinander unterscheiden. Diese verschiedenen Arten des Atoms werden Isotope genannt.

Isotope eines Grundstoffes haben die gleiche Elektronenhülle, aber verschiedene Atomkerne. Die Verschiedenheit der Kerne liegt in der Anzahl der Neutronen und drückt sich im Atomgewicht aus. Während beispielsweise die Grundstoffe Phosphor und Jod nur in der Form eines einzigen Isotops in der Natur vorkommen, bestehen andere natürliche Grundstoffe aus einem Gemisch von Isotopen. Das natürliche Uran ist z. B. zu 99,3% aus dem Isotop mit dem Gewicht 238 und zu 0,7% aus dem Isotop mit dem Gewicht 235 zusammengesetzt. Wasserstoff hat 3, Zinn 10 solcher Isotope. Unter den verschiedenen Isotopen eines Grundstoffes kann eines oder mehrere stabil, andere aber in verschiedener Weise zerfallen oder radioaktiv sein. So ist das Phosphor-Isotop 31 stabil, das Phosphor-Isotop 30 kurzlebig radioaktiv und das Phosphor-Isotop 32 langlebig radioaktiv. Wenn Kernarten zerfallen, spricht man von radioaktiven Isotopen oder kurz von Radio-Isotopen. Solche Isotope kommen in der Natur vor. Sie können aber auch in Teilchenbeschleunigern und in Kernreaktoren künstlich hergestellt werden. Im ersten Falle spricht man von natürlichen radioaktiven Stoffen. Zu ihnen gehören Radium, Thorium und Uran. Im letzteren Falle spricht man von künstlichen radioaktiven Stoffen. Zu ihnen gehören Plutonium und bestimmte Isotope verschiedener Grundstoffe wie Strontium-90 und Kobalt-60.



Wasserstoff hat drei Isotope. *Links:* Wasserstoff, *Mitte:* schwerer Wasserstoff (Deuterium) *Rechts:* überschwerer Wasserstoff (Tritium).

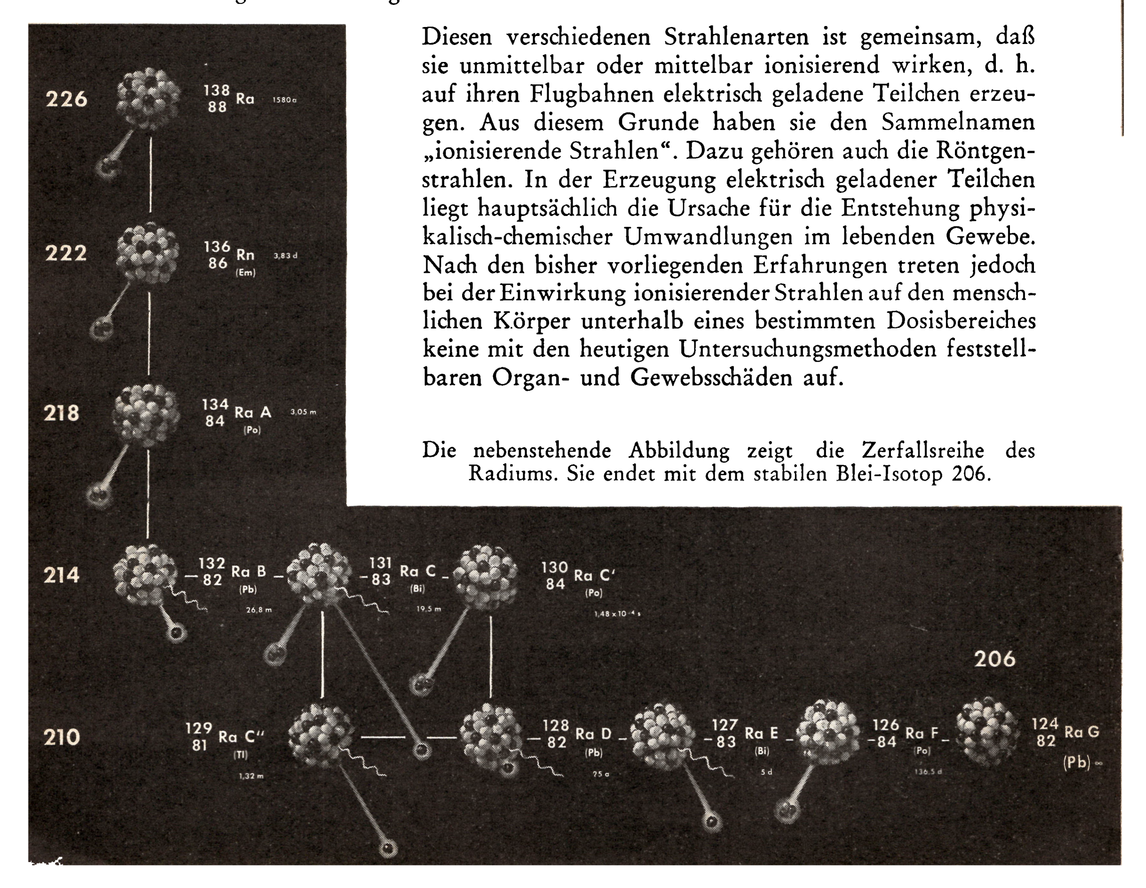
Bei der Radioaktivität handelt es sich um eine Kernumwandlung, die spontan ohne jede äußere Ursache erfolgt. Man kann den radioaktiven Zerfall weder hemmen noch beschleunigen. Er ist naturgegeben und unwandelbar. Jeder radioaktive Stoff wandelt sich von selbst nach einem bestimmten, unveränderlichen, für ihn charakteristischen Zeitmaß in einen anderen Stoff um. Dieser neue Stoff kann stabil oder wiederum radioaktiv sein. Die Art des Zeitablaufs, in dem der Zerfall vor sich geht, ist für alle radioaktiven Stoffe dieselbe. Wenn in einer bestimmten Zeit sich gerade die Hälfte eines radioaktiven Stoffes umwandelt, so verwandelt sich in einer folgenden ebensolangen Zeitspanne vom verbliebenen Rest wieder die Hälfte usw. Diese Zeit nennen die Forscher Halbwertszeit. Nach Ablauf der Halbwertszeit ist von einer bestimmten Menge eines radioaktiven Stoffes noch die Hälfte übrig, nach der doppelten Halbwertszeit ein Viertel, nach der dreifachen Halbwertszeit ein Achtel und so fort bis in alle Unendlichkeit. So also laufen die radioaktiven Uhren. Sie bleiben nie stehen, auch in Weltenaltern nicht. Allerdings gehen sie nicht alle gleich. Einige laufen schnell, andere langsam. Denn es gibt radioaktive Stoffe mit kleiner und solche mit großer Halbwertszeit. Ein Auszug aus einer langen Liste radioaktiver Stoffe, die nach immer langsamerer Umwandlung geordnet ist, sieht so aus:

Thorium C'	3	zehnmillionstel Sekunden
Radiumemanation (Radon)	3,85	Tage
Radium	1580	Jahre
Uran	4,6	Milliarden Jahre

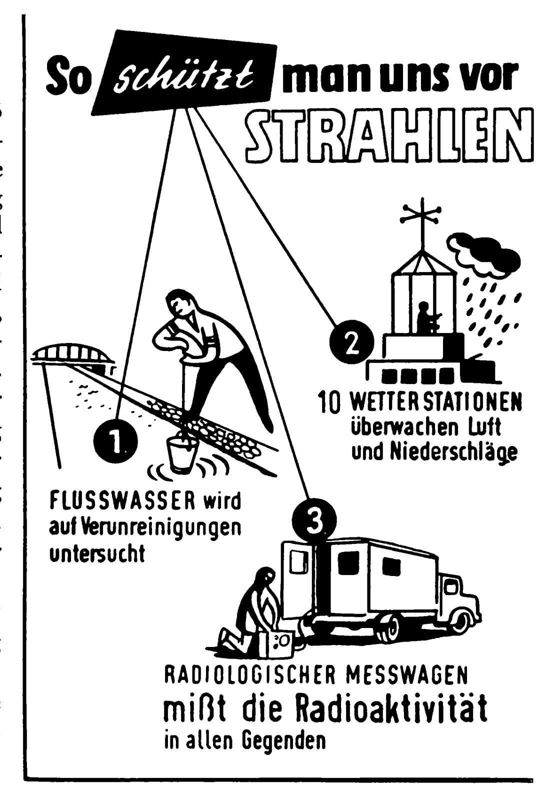
Bei den Kernumwandlungen treten im wesentlichen vier Strahlenarten auf:

1. *Alpha-Strahlen:* Hierbei handelt es sich um verhältnismäßig große Teilchen, die positiv elektrisch geladen sind. Diese Teilchen besitzen nur eine geringe Reichweite. Alpha-Bestrahlung des Körpers von außen hat daher nur geringe Wirkung. Die Alpha-Teilchen können dagegen eine stark zerstörende Wirkung auf lebendes Gewebe ausüben, wenn sie von radioaktiven Stoffen innerhalb des Körpers ausgesandt werden.
2. *Beta-Strahlen:* Hierbei handelt es sich um verhältnismäßig kleine Teilchen, die negativ elektrisch geladen sind. Im allgemeinen sind Beta-Teilchen durchdringender als Alpha-Teilchen. Große Dosen können daher auch von außen den Körper schädigen.
3. *Gamma-Strahlen:* Das sind elektromagnetische Strahlen von sehr großer Durchdringungskraft. Energiereiche Gamma-Strahlen können den ganzen Körper durchstrahlen. Gamma-Strahlen haben ähnliche Eigenschaften und Wirkungen wie Röntgen-Strahlen.
4. *Neutronen:* Das sind für gewöhnlich Bestandteile der Atomkerne. Im Vergleich zu den Alpha- und Beta-Teilchen sind sie elektrisch neutral. Neutronen in einer den menschlichen Organismus schädigenden Konzentration entstehen nur in Kernreaktoren und bei Atombomben-Explosionen. Sie können eine erhebliche biologische Wirkung ausüben.

Diesen verschiedenen Strahlenarten ist gemeinsam, daß sie unmittelbar oder mittelbar ionisierend wirken, d. h. auf ihren Flugbahnen elektrisch geladene Teilchen erzeugen. Aus diesem Grunde haben sie den Sammelnamen „ionisierende Strahlen“. Dazu gehören auch die Röntgenstrahlen. In der Erzeugung elektrisch geladener Teilchen liegt hauptsächlich die Ursache für die Entstehung physikalisch-chemischer Umwandlungen im lebenden Gewebe. Nach den bisher vorliegenden Erfahrungen treten jedoch bei der Einwirkung ionisierender Strahlen auf den menschlichen Körper unterhalb eines bestimmten Dosisbereiches keine mit den heutigen Untersuchungsmethoden feststellbaren Organ- und Gewebsschäden auf.



Die nebenstehende Abbildung zeigt die Zerfallsreihe des Radiums. Sie endet mit dem stabilen Blei-Isotop 206.



Durch ein Bundesgesetz vom 8. 8. 1955 wurde der Deutsche Wetterdienst beauftragt, die Atmosphäre auf radioaktive Beimengungen und deren Verfrachtung zu überwachen. Zu diesem Zweck sind oder werden 10 Meßstellen mit den erforderlichen Meßanlagen eingerichtet, und zwar in Aachen, Berlin, Emden, Essen, Hannover, Königstein (Taunus), München, Nürnberg, Schleswig und Stuttgart. Außerdem wird die Radioaktivität der Luft und der Niederschläge regelmäßig von den Physikalischen Instituten der Universitäten Freiburg und Heidelberg gemessen. Die Meßergebnisse gehen den zuständigen Stellen des Bundes und der Länder zur weiteren Verwertung zu. Was zeigen die bisherigen Meßergebnisse? Die Antwort eines mit der Überwachung der Luft auf Radioaktivität beauftragten Meteorologen lautet: „Die spezifische Beta-Aktivität, die auf Atomwaffenversuche zurückzuführen ist, lag zwischen 10^{-12} bis 10^{-13} $\mu C/cm^3$ Luft. Dagegen beträgt die natürlich vorhandene Aktivität etwa 10^{-10} $\mu C/cm^3$ Luft. Der Zusatzeffekt der Bombenprodukte in der Luft ist also sehr gering . . .“ Zur Veranschaulichung dieser Werte mit den vielen Nullen rechts vom Komma sei darauf hingewiesen, daß die Toleranzdosis bei Dauerzufuhr für den Menschen 10^{-9} $\mu C/cm^3$ Luft beträgt, wenn man ein Gemisch von Beta- und Gammastrahlung ohne Anwesenheit von Strontium-90 zugrunde legt. Demgegenüber beträgt die Toleranzdosis bei Dauerzufuhr für Radioisotope im Wasser bei einem Beta- und Gammastrahlungsgemisch 10^{-7} $\mu C/cm^3$. Die bisherigen Untersuchungen der Niederschläge haben ergeben, daß dieser Toleranzwert zeitweise an verschiedenen Orten überschritten worden ist. Durch natürliche Filtration im Boden und Vermischen mit Bodenwasser liegt jedoch im allgemeinen auch in solchen Fällen die Radioaktivität des Trinkwassers unter dem zulässigen Wert.

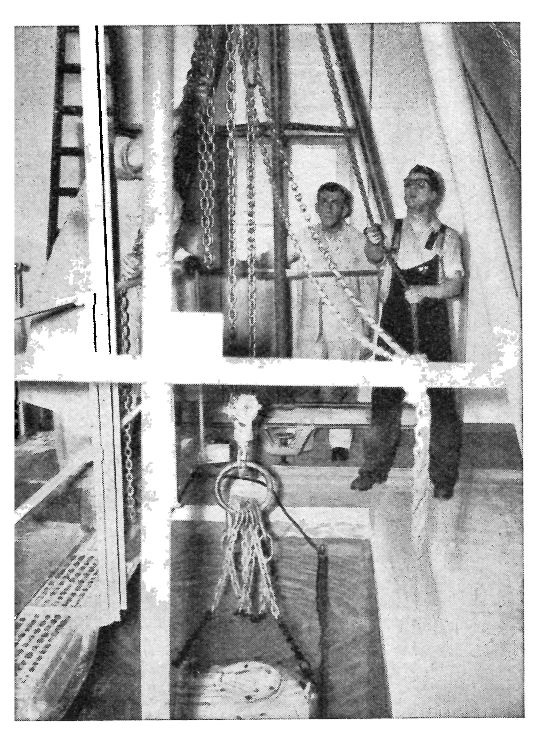
Die bei einer Atomexplosion entstehenden radioaktiven Stoffe gelangen überwiegend in die Luft und erreichen hierbei Höhen bis zu 30 km. Dieser radioaktive Staub besteht aus Teilchen von sehr kleinem Durchmesser. Größere Teilchen fallen schneller als kleinere zu Boden. Um aus 13 km Höhe den Erdboden zu erreichen, benötigt z. B. ein größeres Teilchen im Normalfall etwa 2 Stunden, ein kleineres Teilchen dagegen etwa 70 Tage. Eine gleichmäßige Verteilung dieser Staubteilchen in der Atmosphäre geht nicht sehr schnell vor sich. Man hat vielmehr über längere Zeit das Auftreten ausgeprägter Schwaden beobachtet.

Nach umfangreichen Untersuchungen ergab sich, daß die ersten Schwaden von Atombombenversuchen der USA 10-20 Tage später bei uns nachgewiesen werden konnten. Bei den in der UdSSR ausgelösten Bomben betragen die entsprechenden Verfrachtungszeiten aus meteorologischen Gegebenheiten etwa 30 Tage.
Ebenso wie die künstliche Radioaktivität an ein und demselben Ort sehr unterschiedlich ist, so ist auch die natürliche Radioaktivität starken Schwankungen unterworfen. Nur wenn man den natürlichen Radioaktivitäts-Pegel für jeden Ort kennt, kann man mit Sicherheit sagen, ob und in welchem Umfang durch künstliche radioaktive Stoffe eine Erhöhung eingetreten ist. Mit der Organisation, der Kontrolle und dem Vergleich solcher Messungen ist der auf Beschluß des Deutschen Bundestags gebildete Sonderausschuß „Radioaktivität" beschäftigt. Er wird auch diese Meßergebnisse biologisch und medizinisch auswerten. Denn es genügt nicht zu wissen, die Radioaktivität der Luft hat zugenommen. Man muß vielmehr wissen, wie oft eine solche Erhöhung auftritt, aus welchen Stoffen die Träger dieser Radioaktivität bestehen, wie lange sich die betreffenden Radioisotope im Körper aufhalten, wo sie abgelagert werden und welche Wirkung sie auf die Körper- und Keimzellen des Menschen ausüben.
Was über die Überwachung der Luft und der Niederschläge auf Radioaktivität gesagt worden ist, gilt selbstverständlich auch für die Überwachung des Bodens, des Wassers und der Nahrungsmittel auf Radioaktivität. Bekanntlich bilden Pflanzen die Hauptreserven unserer Nahrungsmittel. Erstens essen wir selbst Pflanzen; zweitens fressen Tiere, deren Fleisch uns als Nahrung dient, ebenfalls Pflanzen. Pflanzen nehmen radioaktive Stoffe aus der Luft, aus dem Regenwasser und aus dem Boden auf, scheiden einen Teil aus und lagern einen Teil ab. Der in den Pflanzen abgelagerte Teil gelangt entweder direkt oder über den Tierkörper in den menschlichen Körper. Zum Teil wird er dort auf natürlichem Wege ausgeschieden, zum Teil bleibt er dort zurück und übt eine Wirkung aus. Je nachdem, um welche Mengen und um welche radioaktiven Stoffe es sich im einzelnen dabei handelt, und je nachdem, welches Organ der Strahlung dieser Stoffe ausgesetzt ist, ist die Wirkung der einverleibten radioaktiven Stoffe mehr oder weniger schädlich. Auch ist die Wirkung individuell verschieden.
Untersuchungen über radioaktive Verunreinigungen von Nahrungsmitteln werden im Bundesgebiet durchgeführt vom Radiologischen Institut der Universität Freiburg. Stichprobenerhebungen liegen vor über die Gesamtradioaktivitäten von Böden in Niederungen und Höhen, vom Bewuchs von Wiesen und Weiden in verschiedenen Höhenlagen, von verschiedenen Futterpflanzen, von Gemüsen, der Milch, des Weins und von Schilddrüsen von Schlachttieren. Diese Meßergebnisse reichen jedoch nicht aus, um sagen zu könenn, ob die festgestellten radioaktiven Verunreinigungen gesundheitsschädlich sind oder nicht. Die Messungen müssen über einen längeren Zeitraum und auf breiterer Grundlage im gesamten Bundesgebiet fortgesetzt werden. Auch sind noch weitere Untersuchungen über die Aufnahme und Wirkung radioaktiver Stoffe im menschlichen Körper erforderlich. Ebenso müssen noch auf nationaler und internationaler Ebene Toleranzgrenzen für Futter- und Nahrungsmittel festgelegt werden. Zur Durchführung dieser Arbeiten braucht die Schutzforschung Geld. Es wird ihr vom Bund und den Ländern zur Verfügung gestellt.



Die apparative Ausstattung des „Radiologischen Meßwagens“ gestattet, Messungen zur Ermittlung der natürlichen und der künstlichen Strahlenbelastung des Menschen durchzuführen. Alle hierzu notwendigen Meßeinrichtungen vom Zählgerät modernsten Typs bis zur Spezial-Ionisationskammer-Anordnung zur Messung des natürlichen Radongehalts der Luft sind vorhanden. Ein kleiner chemischer Arbeitsplatz mit eigener Wasser- und Gasversorgung gestattet die Verarbeitung von Meßproben an Ort und Stelle. In einem Anhänger ist ein leistungsfähiges Stromaggregat untergebracht, das den Meßwagen von jeder äußeren Stromversorgung unabhängig macht. In Verbindung mit einem Zelt kann aus dem Anhänger ein zusätzliches geräumiges Labor geschaffen werden.

Der Mensch hat kein Sinnesorgan, mit dem er Röntgen- oder Kernstrahlung wahrnehmen könnte. Trotzdem ist er dieser Strahlung nicht wehrlos ausgeliefert. Mit Hilfe von Strahlenmeßgeräten kann er jederzeit und überall mühelos die Strahlung radioaktiver Stoffe feststellen. Ein verhältnismäßig einfaches und billiges Strahlenmeßgerät ist die Filmplakette. Sie wird von Personen getragen, die in Laboratorien und Betrieben tätig sind, in denen mit Strahlenquellen gearbeitet wird oder in denen radioaktive Stoffe verarbeitet werden. Man hat damit eine Kontrolle über die empfangene Strahlendosis, für die ein höchstzulässiger Wert von 0,3 Röntgen pro Woche international festgelegt ist.

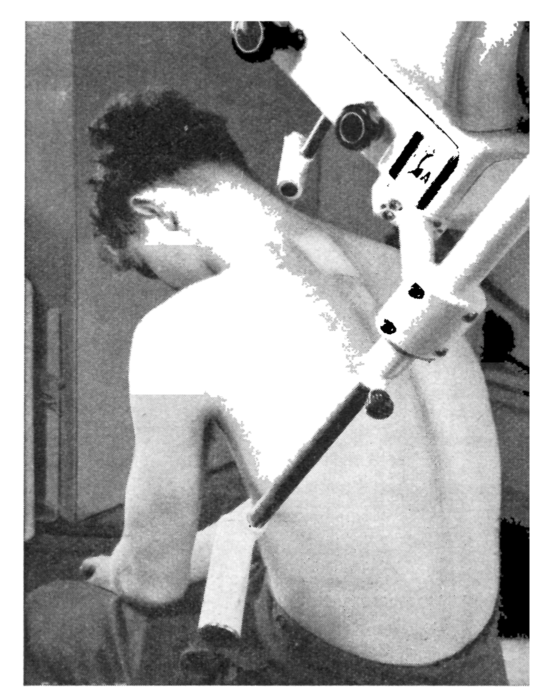


Montage einer starken Kobalt-60-Quelle

Radio-Isotope im Dienste des Menschen

Bei der Beschaffenheit der radioaktiven Stoffe liegt die Frage nahe, ob sie zu einer Gefahr oder zum Segen für die Menschheit werden können. Für die beiden Möglichkeiten, Zerstörung oder Aufbau, gibt das Kobalt 60 ein lehrreiches Beispiel. Es besitzt eine Halbwertszeit von über fünf Jahren und gehört in die Gruppe der Gammastrahler. Kobalt 60 ist somit eine starke Strahlenquelle von langer Lebensdauer. Würde eine bestimmte Zahl von Wasserstoffbomben mit viel Kobalt umkleidet zur Detonation gebracht, dann würde das stark strahlende gefährliche Produkt in feinster Zerstäubung in die Atmosphäre geschleudert und mit den Windströmungen über weite Teile der Erde verstreut. Wo dieser Staub dann allmählich auf die Erde herunterfällt, kann er auf alle Lebewesen seine vernichtende Wirkung ausüben. In der Hand des Wissenschaftlers, Arztes und Ingenieurs dagegen bedeutet Kobalt 60 keinerlei Gefahr für die Bevölkerung. Es kann überall da verwendet werden, wo man bisher das Radium für Tiefenwirkung benutzt hat. Der Unterschied ist aber der, daß Kobalt 60 viel billiger als Radium ist und auf einfache Weise in großen Mengen in einem Kernreaktor gewonnen werden kann. Dabei ist der künstliche radioaktive Stoff noch vielseitiger zu verwenden als die natürliche radioaktive Substanz. Neben der wichtigen Verwendung der Kobaltquellen in der Krebsbehandlung seien nur einige technische Anwendungen erwähnt. Will man gewisse Maschinenteile, Schiffsschrauben, Flugzeugteile an Ort und Stelle auf Gußfehler prüfen, so geschieht das mit den harten Gammastrahlen des Kobalt 60. In den Hohlräumen werden die Strahlen weniger gebremst als im Metall. Mit Hilfe der photographischen Platte oder des Zählrohrs können solche Prüfungen leicht durchgeführt werden. In einem Hochofen läßt sich die Höhe der Schmelze von außen dadurch erkennen, daß man an der einen Wandseite ein strahlendes Radioelement und an der gegenüberliegenden Wandseite ein Strahlennachweisgerät anbringt. Muß die Strahlung durch die Schmelze, dann wird sie in ihr verschluckt, und das Meßgerät schlägt nur schwach aus. Geht die Strahlung aber nur durch das Gas oberhalb der Schmelze, so wird sie wenig gebremst, und das Meßgerät schlägt stark aus.

Seit der Entdeckung der Röntgenstrahlen und des Radiums um die Jahrhundertwende werden die ionisierenden Strahlen in mannigfacher Weise in *Medizin und Biologie* zum Segen der Menschheit angewandt. In der Röntgendiagnostik wird ihre Fähigkeit, auf einem Leuchtschirm oder einer Photoplatte ein Schattenbild der Knochen und der verschiedenen Organe zu erzeugen, zum Erkennen von Verletzungen und krankhaften Veränderungen im Innern des Körpers nutzbar gemacht. In der Röntgen- und Radiumtherapie wird die Eigenschaft dieser Strahlen, in höheren Dosen lebende Zellen abzutöten, insbesondere zur Zerstörung von Krebsgeweben benutzt. Die größere Strahlenempfindlichkeit des erkrankten Gewebes gegenüber dem gesunden schafft die Voraussetzung für eine erfolgreiche Anwendung der ionisierenden Strahlen in der Krebsbehandlung.



Bestrahlung mit einem Gammatron

Einen wesentlichen Fortschritt bedeutet die Verwendung künstlich radioaktiver Isotope. Da diese strahlenden Substanzen in fester, flüssiger oder plastischer Form zur Verfügung stehen, bietet sich dem Arzt eine Vielzahl von Möglichkeiten, die Strahlenquelle dem Krankheitsherd bestmöglich anzupassen. Einige der radioaktiven Isotope und ihrer chemischen Verbindungen reichern sich, wenn man sie in gelöster Form in die Blutbahn bringt, in bestimmten Organen oder Organsystemen bevorzugt an und bringen dort ihre Strahlung zur Wirkung. Dadurch lassen sich gewisse Erkrankungen dieser Organe behandeln, indem der Organismus selbst die Aufgabe übernimmt, den Strahler an die gewünschte Stelle zu transportieren. Das ist z. B. der Fall bei Radio-Phosphor. Er lagert sich in den Blutbildungsstätten an. Die sog. Polyzythämie, eine bisher fast regelmäßig tödlich endende Blutkrankheit, kann nun durch Behandlung mit Radio-Phosphor bekämpft werden. Wo es sich darum handelt, auf örtlich begrenzte Krankheitsherde einzuwirken, stellen Radio-Isotope einen verbesserten Radium-Ersatz dar. Sie sind gegenüber den natürlichen Zerfallsstrahlern wie Radium oder Mesothorium billiger und vielseitiger zu verwenden. Dafür ein Beispiel aus der Krebsbehandlung: Man kann das erkrankte Gewebe mit Nadeln aus Radiokobalt oder Drähten aus Radiotantal spicken, flüssiges Radiogold in die freie Bauchhöhle einbringen oder Radiokobalt in Fernbestrahlungsgeräte nach Art der Radiumkanonen einbauen und von außen her auf einen selbst tiefliegenden Krankheitsherd im menschlichen Körper einwirken lassen. Zahllose Kranke verdanken auch bereits ihre Heilung der Behandlung mit Radioisotopen.

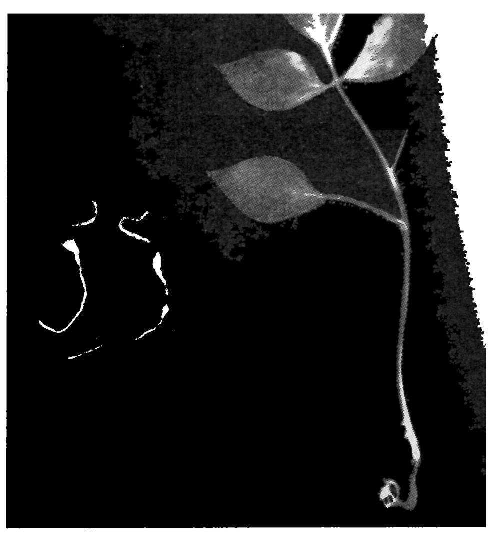
In der *Land- und Forstwirtschaft* werden gleichfalls ionisierende Strahlen verwendet, vor allem in der Forschung. Dank der Radio-Isotope ist es dem Forscher möglich, Einblicke in die Vorgänge beim Stoffwechsel von Pflanze und Tier zu gewinnen. Schon wenn er radioaktive Phosphorsäure oder radioaktiven Kalk nur in winzigen und daher völlig unschädlichen Mengen einem Düngemittel beimischt, kann er mit dem Geigerzähler genau den Weg der Phophorsäure oder des Kalks auf ihrer Wanderung aus der Bodenlösung über die feinsten Faserwürzelchen bis in die äußersten Blattspitzen der Pflanzen oder beim Getreide sogar bis zu den Ähren verfolgen. Werden solche mit „Spür-Isotopen“ ernährte Pflanzen in regelmäßigen Abständen auf lichtempfindliche Platten gepreßt, so ist aus den Kontaktabzügen nicht nur der Wanderweg, sondern auch die Wandergeschwindigkeit der markierten Nährstoffe zu erkennen. Hierbei hat man Erstaunliches entdeckt. Junge Getreidepflanzen nehmen schon innerhalb weniger Stunden nach einer Düngung mit Thomasphosphat bis in die äußersten Blattspitzen Phosphorsäure auf. Selbst in alten Obstbäumen läßt sich eine Düngung mit radioaktivem Kali oder markierter Phosphorsäure im Verlauf weniger Tage bis in die jüngsten Blütenknospen verfolgen. Ähnliche Aufschlüsse geben radioaktive Beimengungen in Futtermitteln. So ist es z. B. möglich, einer Spur radioaktiven Jods auf dessen Weg über die Kuh und die Muttermilch bis zur Schilddrüse des Kalbes zu folgen. Die Zeit scheint nicht fern, in der der Isotopenforscher geradezu miterleben kann, wie sich Eiweiße, Fette und Kohlehydrate bilden. Auf diesem Forschungsweg sind noch viele wertvolle Erkenntnisse zu gewinnen, die dann in Düngungs- und Fütterungsmaßnahmen ihre praktische Auswirkung haben werden.

Erst seit knapp 30 Jahren ist bekannt, daß mit Hilfe energiereicher Strahlen neue Erbformen bei Pflanzen hervorgerufen werden können. Der Forscher war hierbei bisher auf die Röntgenstrahlen angewiesen. Jetzt stehen ihm für diesen Zweck neue und vielseitiger verwendungsfähige Strahlenquellen aus den Kernreaktoren zur Verfügung. Sie helfen ihm, neue Erbtypen bei Kulturpflanzen zu erzeugen und brauchbare Kulturformen mit wertvolleren Sorteneigenschaften zu züchten. Allerdings erfordert das viel Zeit und Geduld. Diese künftigen Kulturpflanzen sollen gegenüber den jetzigen Arten und Sorten früher reifen und standfester sein, höhere Erträge bringen und widerstandsfähiger gegen Krankheiten sein, auf mageren Böden und in Klimazonen gedeihen, in denen sie bisher nicht recht gedeihen konnten. Sehr erfolgversprechende Forschungsergebnisse liegen bereits vor. In Schweden ist es z. B. gelungen, neue und ertragreiche Gerstensorten mit besonderer Standfestigkeit zu züchten. In Deutschland hat man gute Erfolge bei Lupine, Sojabohne, einigen Futterpflanzen zu verzeichnen, so beim Rotklee, Steinklee und einigen Futtergräserarten.

Auch in der *Ernährungswirtschaft* gibt es eine Reihe von Möglichkeiten zur Verwendung von Radio-Isotopen. Aus ihrer Vielzahl seien besonders die Konservierung von Lebensmitteln und die Bekämpfung von Lebensmittelschädlingen durch Bestrahlung erwähnt. Durch die keimungshemmende und sterilisierende Wirkung der Kernstrahlen können das Auskeimen von Pflanzen unterbunden und die Haltbarkeit von Lebensmitteln beachtlich verlängert werden. Kartoffeln, die vor eineinhalb Jahren bestrahlt wurden, haben bis heute nicht gekeimt noch sind sie verfault. Da-

mit besteht die Aussicht, einen höheren Prozentsatz der vorhandenen Lebensmittel dem Verbrauch zu erhalten, ohne daß der Erzeuger mehr auf den Markt bringt. Der geringere Verderb ist für den Privathaushalt von ebenso großer Bedeutung wie für die Volkswirtschaft. Wenn man das Auskeimen von Kartoffeln durch Bestrahlung verhindert, so wird der Geschmack nicht merklich verändert. Die entscheidende Frage: Ist der Genuß bestrahlter Lebensmittel auch ungefährlich? läßt sich beim heutigen Stande der Strahlenkonservierung noch nicht sicher beantworten. Bevor man das kann, sind noch weitere Versuche an Tieren und freiwilligen Versuchspersonen erforderlich. Der Gesetzgeber wird die Bestrahlung von Lebensmitteln nur dann zulassen, wenn deren Genuß unschädlich und unbedenklich ist.

In der Schädlingsbekämpfung hat die Strahlennutzung schon praktische Bedeutung erlangt. Insekten in Mehl, Getreide, Gewürzen, Trockenobst und Fruchtpasten können mit Kernstrahlen vernichtet werden. Schon kleine Dosen reichen aus, um die Insekteneier abzutöten, und noch geringere Dosen bewirken, daß die Vermehrung der erwachsenen Insekten unterbleibt. Durch Bestrahlen mit der zum Töten von Insekten ausreichenden Dosis werden im Getreide und in Getreideprodukten keine unerwünschten Nebenwirkungen erzielt. Bestrahlt man geschlachtete Schweine, so ist schon mit einer kleinen Dosis eine Abtötung der Trichinen möglich. Auf die gleiche Weise lassen sich Krankheitserreger vernichten, Verpackungsstoffe und Behälter keimfrei machen.

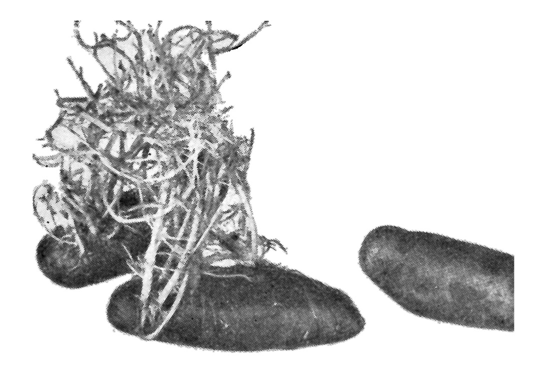


Links: keimende Bohnen 5 Tage nach der Saat – Rechts: Verteilung der Phosphorsäure in der Bohnenpflanze 24 Stunden nach der Düngung.



Aus dem Steinklee (rechts) entstand durch Bestrahlung die buschförmige neue Sorte (links).

Das nebenstehende Bild zeigt links unbestrahlte und rechts eine bestrahlte Kartoffel der gleichen Ernte und Sorte.



Strahlenwirkung auf den Menschen

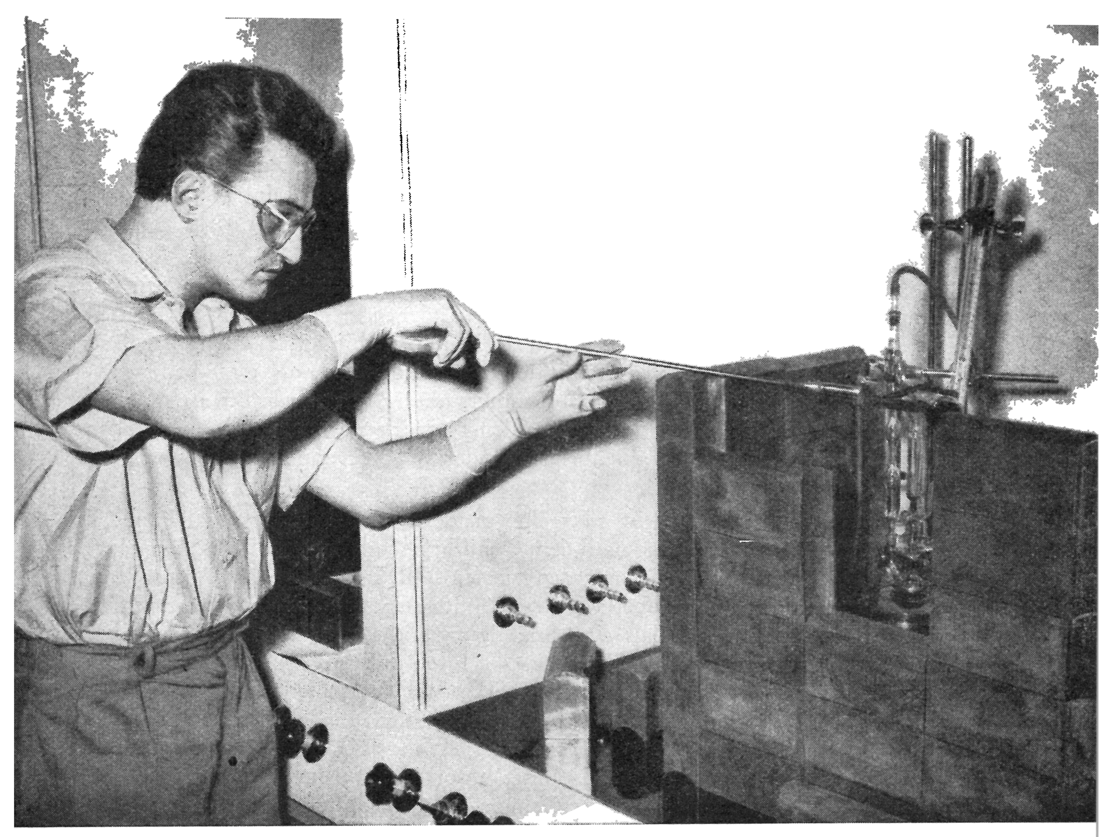
Von Prof. Dr. med. Gerhard Schubert
Direktor der Universitäts-Frauenklinik Hamburg-Eppendorf

Der Mensch lebt von Natur in einer Umwelt, in der er — wenn auch in geringem Maße — ständig ionisierenden Strahlen ausgesetzt ist. Ein Teil rührt von der aus dem Weltall kommenden kosmischen Ultrastrahlung her. Der weitaus größere Teil stammt von den natürlichen radioaktiven Elementen, die in mehr oder weniger starken Spuren in unserer Umgebung, im Erdboden, im Wasser und in der Luft vorhanden sind. Die Intensität dieser natürlichen Umweltstrahlung ist jedoch außerordentlich gering und nur mit empfindlichen Instrumenten nachweisbar.

Höhere Strahlendosen, die für den Menschen gefährlich werden können, sind nur bei künstlichen Strahlenquellen zu erwarten. Grundsätzlich ist zu unterscheiden zwischen lokalen Strahleneinwirkungen, also Bestrahlung einzelner Teile des Körpers, und den sog. Ganzkörperbestrahlungen. In der Strahlentherapie benutzen die Ärzte die zellzerstörende Wirkung der ionisierenden Strahlen, um krankes Gewebe, vor allem Krebsgewebe, abzutöten. In gleicher Weise wird aber auch das gesunde Gewebe schwer geschädigt, wenn es von hohen Strahlenintensitäten getroffen wird, ganz gleich, ob diese nun von strahlenerzeugenden Geräten oder aus radioaktiven Substanzen stammen. Besonders gefährdet sind daher alle Personen, die berufsmäßig mit irgendwelchen Strahlenquellen zu tun haben. Die Skala der lokalen Schädigungen reicht von den leichten Hautrötungen bis zu den schwersten „Strahlenverbrennungen", wozu sich als Spätfolge oft erst nach vielen Jahren die Gefahr des Strahlenkrebses gesellen kann.

Wird der gesamte Körper von ionisierenden Strahlen durchstrahlt, so genügen bereits wesentlich geringere Strahlendosen, um erhebliche gesundheitliche Schädigungen hervorzurufen. Je nach der Höhe der empfangenen Strahlendosis und nach der körperlichen Verfassung des Betroffenen setzt einige Stunden, oft auch erst Tage nach der Strahleneinwirkung die typische Strahlenkrankheit ein, die in leichteren Fällen als Abgeschlagenheit, Müdigkeit, Unwohlsein und Erbrechen in Erscheinung tritt und in schwereren Fällen zum langsamen Dahinsiechen und zum Tode führen kann. Aber auch oftmals wiederholte Bestrahlungen mit kleineren Strahlungsmengen oder Dauereinwirkung ionisierender Strahlen auf den gesamten Organismus können im Laufe der Zeit zu schweren Schädigungen, vor allem der blutbildenden Organe, führen. Hierbei ist es gleichgültig, ob die Strahlung den Körper von außen durchdringt oder durch radioaktive Substanzen, die in den Körper gelangt sind, von innen her ihre schädigende Wirkung ausübt. Als besonders gefährlich sind jene langlebigen Radioisotope anzusehen, die sich in bestimmten Organen anreichern. Hierzu gehören u. a. das radioaktive Strontium, Kalzium, Radium und Plutonium, die bevorzugt in den Knochen abgelagert werden.

Die menschliche Erbsubstanz, die für den Fortbestand vieler sichtbarer und unsichtbarer Eigenschaften unseres Organismus über Generationen hinaus verantwortlich ist, wird fast ausschließlich in bestimmten Anteilen der Zellkerne von Ei- und Samenzellen zusammengefaßt. Man nennt diese Bestandteile, die im Mikroskop



Eine durch Bleiziegel gegen Strahlungen abgeschirmte Apparatur mit radioaktiven Substanzen wird fernbedient

als stäbchenförmige, gewundene Gebilde sichtbar gemacht werden können, Chromosomen. Auf ihnen liegen reihenförmig hintereinander die Gene als die eigentlichen Träger der einzelnen Erbmerkmale wie Hautfarbe, Gesichtsform, Augenfarbe und viele andere.

Es ist bereits seit vielen Jahren bekannt, daß die durch die Gene ursprünglich festgelegten Erbanlagen eines Menschen durch Strahleneinwirkung geändert werden können. Diese plötzlichen Erbänderungen werden auch Mutationen genannt. Um eine Mutation auszulösen, ist es erforderlich, daß die Strahlen an den Keimzellen der Fortpflanzungsdrüsen wirksam werden. Erbänderungen, ob sie nun durch Strahlen oder irgendein anderes Ereignis ausgelöst werden, sind oft nur so gering, daß sie kaum oder erst in sehr viel späteren Generationen in Erscheinung treten. Es kommt aber auch vor, daß bereits die unmittelbaren Nachkommen eines Menschen, der einer schädigenden Strahlung ausgesetzt war, in ihren Körperfunktionen schwer geschädigt werden oder nicht einmal lebensfähig sind.

Aber nicht nur diese mehr oder weniger ins Auge fallenden Störungen sind es, die den Erbforschern Sorge bereiten. Sie wissen nämlich, daß fast jede Mutation, durch die das Erbgut eines Menschen unwiderruflich verändert ist, auch in anderer Weise nachteilig wirken kann. So wird ganz allgemein die Lebenstüchtigkeit der Nach-

kommenschaft über alle folgenden Generationen beeinträchtigt. Es kommt zu einer herabgesetzten Widerstandskraft gegenüber den Anforderungen des Lebens mit erhöhter Krankheitsbereitschaft oder auch zu einer Beeinträchtigung der Fortpflanzungsfunktionen und damit zu einer Verminderung der Zahl gesunder Kinder.

Da schon kleinste Strahlenmengen die Erbsubstanz zu verändern vermögen und es praktisch keine Möglichkeit gibt, solche Erbänderungen rückgängig zu machen, liegt der einzige Schutz in der Vorbeugung. Es muß verhindert werden, daß unser Organismus größeren Strahlenintensitäten ausgesetzt wird, als es unbedingt — etwa durch eine unvermeidliche Röntgenuntersuchung — erforderlich ist. Es wird die Aufgabe eines gut organisierten Strahlenschutzes sein, dafür Sorge zu tragen, daß die durchschnittliche Strahlenbelastung der Bevölkerung so niedrig wie nur irgend möglich gehalten wird.

Der sicherste Strahlenschutz ist stets eine große Entfernung zur Strahlenquelle, da die Intensität der Strahlung nach dem Quadratgesetz abfällt; d. h. in doppeltem Abstand beträgt die Intensität nur den vierten Teil, in zehnfachem Abstand nur noch $^1/_{100}$ usw. Nicht immer aber wird es möglich sein, den Abstand zur Strahlenquelle so groß zu halten, daß eine Schädigung nicht mehr zu erwarten ist. In diesem Fall wird man zweckmäßigerweise die Intensität durch sog. Schutzschichten, d. h. durch Materieschichten geeigneter Dicke und geeigneten Materials auf ein tragbares Maß vermindern. Während Alpha-Strahlen von wenigen Zentimetern Luft und Beta-Strahlen je nach ihrer Energie von einigen Millimetern Wasser, Holz oder dergleichen bereits vollständig absorbiert werden, benötigt man zur Abschirmung von Röntgen- oder gar Gamma-Strahlen dicke Schichten aus schweratomigem Material wie z. B. Blei, Eisen, Beton.

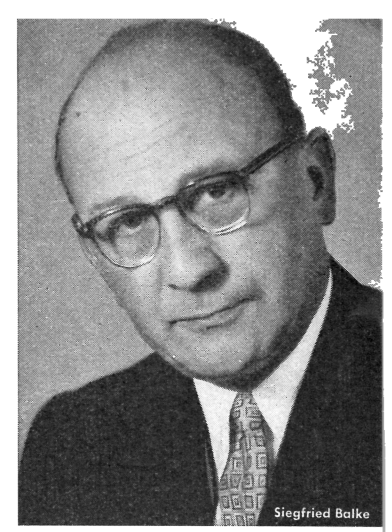
Besondere Gefahren drohen durch Verseuchung mit radioaktiven Isotopen. Die einfachsten Schutzmaßnahmen wie großer Abstand oder Schutzschichten fallen fort, wenn radioaktive Substanzen mit der Körperoberfläche in Berührung kommen oder gar in den menschlichen Körper hineingelangen. Bei jeglicher Handhabung dieser Stoffe, vor allem aber bei den Reaktoranlagen, in denen Radioisotope in großen Mengen als Abfallprodukte auftreten, muß daher mit äußerster Vorsicht darauf geachtet werden, daß eine Verseuchung der Atemluft und des Wassers vermieden wird. Denn im biologischen Kreislauf können auf den seltsamsten Wegen (Grundwasserverseuchung, Anreicherung radioaktiver Stoffe in pflanzlichen und tierischen Nahrungsmitteln usw.) die strahlenden Substanzen in den menschlichen Körper gelangen und dort durch „Strahlung von innen" ihre schädigenden Wirkungen ausüben. Bei sorgfältiger Überwachung und Einsatz aller zu Gebote stehenden technischen Mittel dürften heute jedoch die Gefahren von Strahlenschädigungen bei der friedlichen Nutzung der Kernenergie unter Kontrolle zu halten sein. Leiter von Strahlenbetrieben und Ausbildungsstätten für den atomtechnischen Nachwuchs müssen dafür sorgen, daß durch unermüdliche Übung, strengste Arbeitsdisziplin, genaueste Sachkenntnis und dauernd wiederholte Hinweise auf die Verantwortung gegenüber den Mitmenschen die Strahlenschutzvorschriften eingehalten werden. Sie sind so bemessen, daß ein gefahrloser Betrieb möglich ist.

Die Kernenergie wird von allen Industriestaaten verwendet. Ihre Bedeutung für die wirtschaftliche und soziale Stellung eines Landes wächst ständig. Die Bundesrepublik kann sich als hochindustrialisiertes Land von dieser Entwicklung nicht ausschließen. Das ist die einmütige Auffassung von Bundesregierung, Bundesrat und Bundestag.

Der für Atomfragen zuständige Bundesminister Prof. Dr.-Ing. Siegfried Balke erklärte: „Es ist verständlich, daß sich die Bevölkerung sehr stark mit der Frage beschäftigt, welche Aussichten und Gefahren mit der Nutzbarmachung der Kernenergie verbunden sind. Begreiflicherweise stehen die Gefahrenquellen im Vordergrund des öffentlichen Interesses. Solange wir nichts Genaues über die Größe der dem Menschen durch die Atomtechnik drohenden Gefährdung wissen, ist es sicherlich richtig, lieber etwas zu vorsichtig als etwas zu nachlässig zu sein und deshalb vorbeugende Maßnahmen zu treffen. Was bei dem heutigen Stand der Wissenschaft und Technik an Schutzmaßnahmen möglich ist, geschieht oder wird geschehen . . ."

Über die Maßnahmen der Bundesregierung wacht auch in diesen Fragen der Bundestag. Von der Wahrnehmung dieser Kontrollfunktion zeugen die Ausführungen der Abgeordneten aller Fraktionen. In der Atomdebatte des Bundestages vom 22. 2. 57 erklärte der SPD-Abgeordnete Heinrich-Wilhelm Ruhnke: „Es müssen jegliche Sicherung zum Schutze der Menschen, die sich mit der Kernenergie befassen, und darüber hinaus Sicherungen für alle Menschen, für den Boden, für das Wasser, für die Pflanzenwelt, für die Tierwelt geschaffen werden. Bei der friedlichen Verwendung der Kernenergie liegen sicherlich Gefahren aller Art vor. Aber sie können doch auf ein Mindestmaß verringert werden, wenn alles Erdenkliche getan wird, um sie zu vermeiden . . ."

In der gleichen Debatte sagte der FDP-Abgeordnete Dr.-Ing. Walter Drechsel: „Man muß ausdrücklich unterscheiden zwischen der Verseuchung durch Atombomben und der Möglichkeit von Strahlenschäden bei der friedlichen Nutzung der Kernenergie, die man wohl abzuschirmen vermag. Im letzteren Falle bin ich durchaus der Ansicht, daß Wissenschaft und Technik in der Lage sind, mit den dabei auftretenden Schwierigkeiten fertigzuwerden . . ."


Siegfried Balke


Heinrich-Wilhelm Ruhnke


Walter Drechsel

Erklärung einiger Fachausdrücke

Curie — abgekürzt C — ist die Maßeinheit für die Strahlungsstärke (Aktivität) natürlich oder künstlich radioaktiver Stoffe. Eine Strahlenquelle hat dann eine Aktivität von einem Curie, wenn in ihr ebensoviel Zerfallsvorgänge ablaufen wie in einem Gramm Radium. Das sind 37 Milliarden in einer Sekunde. Als Untereinheiten werden 1 Millicurie (mC) und 1 Mikrocurie (μC) benutzt. 1 Millicurie ist der 1 000ste, 1 Mikrocurie der 1 000 000ste Teil eines Curie. Als größere Einheiten sind Kilocurie, Megacurie und Gigacurie gebräuchlich. Ein Kilocurie hat ebensoviel Zerfallsvorgänge wie ein Kilogramm, 1 Megacurie wie eine Tonne und 1 Gigacurie wie 1 000 Tonnen Radium.

Röntgen — abgekürzt r — ist die Maßeinheit für die vom Körper oder einem Gegenstand aufgenommene Strahlendosis oder Gesamtstrahlungsmenge. Sie gilt nur für Röntgen- und Gammastrahlen innerhalb eines bestimmten Energiebereichs. Als Untereinheiten werden auch 1 Milliröntgen (mr) und 1 Mikroröntgen (μr) benutzt. 1 Milliröntgen (mr) ist der 1 000ste, 1 Mikroröntgen (μr) der 1 000 000ste Teil eines Röntgen. Hat man andere Strahlen zu messen, wie z. B. Alpha-, Betastrahlen und Neutronen, so benutzt man die Maßeinheit rad. Rad kommt vom Englischen „*R*adiation *a*bsorbed *d*osis“ (= aufgenommene Strahlendosis). Daneben wird u. a. noch rem verwendet. Das rem (Abkürzung für „roentgen equivalent man“) ist die aufgenommene Dosis irgendeiner ionisierenden Strahlung, die die gleiche biologische Wirksamkeit wie 1 rad einer Röntgen- oder Gammastrahlung hat.

Höchstzulässige Dosis: Die höchstzulässige Dosis ist diejenige Dosis ionisierender Strahlung, die nach unseren gegenwärtigen Kenntnissen und Erfahrungen aller Voraussicht nach der betreffenden Person während ihrer Lebenszeit keinen merklichen körperlichen Schaden zufügt. Die „Internationale Kommission für Strahlenschutz“ hat eine Reihe von solchen höchstzulässigen Dosen empfohlen. Diese Empfehlungen sind zwar nicht rechtsverbindlich, aber sie werden von jedem zivilisierten Land beachtet. Nach den letzten Vereinbarungen vom Oktober 1956 soll die Strahlenbelastung eines Einzelnen pro Woche 0,3 r und pro Jahr 5 r nicht übersteigen. Bis zum 30. Lebensjahr soll die Gesamtdosis 50 r nicht überschreiten. In den folgenden drei Jahrzehnten soll die Höchstdosis insgesamt 150 r betragen (50 r in 10 Jahren), so daß die Gesamtdosis bis zum 60. Lebensjahr gleich 200 r ist. Ist die gesamte Bevölkerung einer Strahleneinwirkung ausgesetzt, so soll eine Belastung von 10 r in 30 Jahren pro Person zusätzlich zur natürlichen Strahlenbelastung nicht überschritten werden. Die zulässigen Mengen radioaktiver Isotope im Gesamtkörper und die zulässigen Konzentrationen in der Einatmungsluft und im Trinkwasser sind so berechnet, daß bei einer lebenslänglichen (70 Jahre) gleichbleibenden Zufuhr die zulässige Wochendosis für Langzeitbestrahlung 0,3 rem für das jeweils besonders strahlenempfindliche Organ nicht übertroffen wird. Die „Internationale Kommission für Strahlenschutz“ hält folgende Organe für besonders strahlenempfindlich: 1. die Haut; 2. die blutbildenden Organe; 3. die Fortpflanzungsorgane; 4. die Augen.

Bilder und Zeichnungen: Archiv (S. 1),

Dr. te Neues & Co. GmbH.,

Kempen/Niederrhein (S. 2, 3, 4),

Bernick, Düsseldorf (S. 5),

Photo AP (S. 7),

Battelle-Institut, Frankfurt (S. 8),

Siemens-Reiniger-Werke AG., Erlangen (S. 9),

Atomkernenergie, München,

Institut für Pflanzenbau und

Pflanzenzüchtung, Göttingen (S. 11),

Farbenfabriken Bayer AG., Leverkusen (S. 13),

Bundesministerium für Atomfragen (S. 15).

Nicht namentlich gezeichneter Textteil wurde zusammengestellt auf Grund von Beiträgen von Dr. Hinzpeter, Frankfurt; Prof. Kuprianoff, Karlsruhe; Dr. Muth, Frankfurt; Prof. Langendorff, Freiburg, und Prof. Scheibe, Göttingen.